

# Con la muerte en los talones: los microorganismos salen adelante en el desierto de **Atacama**

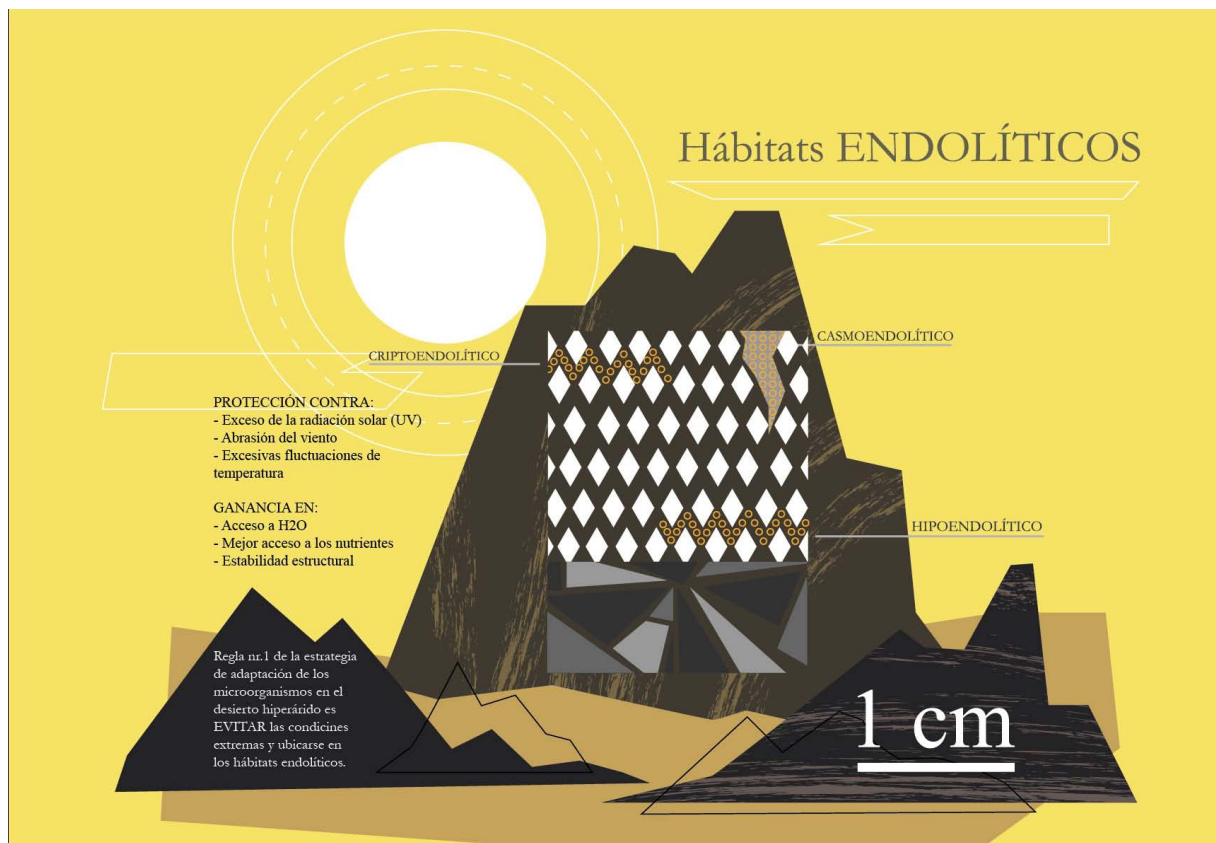


Mª Cristina Casero Chamorro



Yungay, el lugar más seco del desierto de Atacama / M.C. Casero

Si algo sabemos en un museo como este es que la vida en la Tierra lleva miles de años abriéndose camino. Los organismos del planeta vivimos en una constante evolución que hace posible que la vida se mantenga. El 'elenco' de seres vivos que puebla este planeta que compartimos todos es casi inabarcable y en esas páginas Cristina Casero nos descubre las sorprendentes estrategias de unos seres vivos que nadie diría que están ahí.



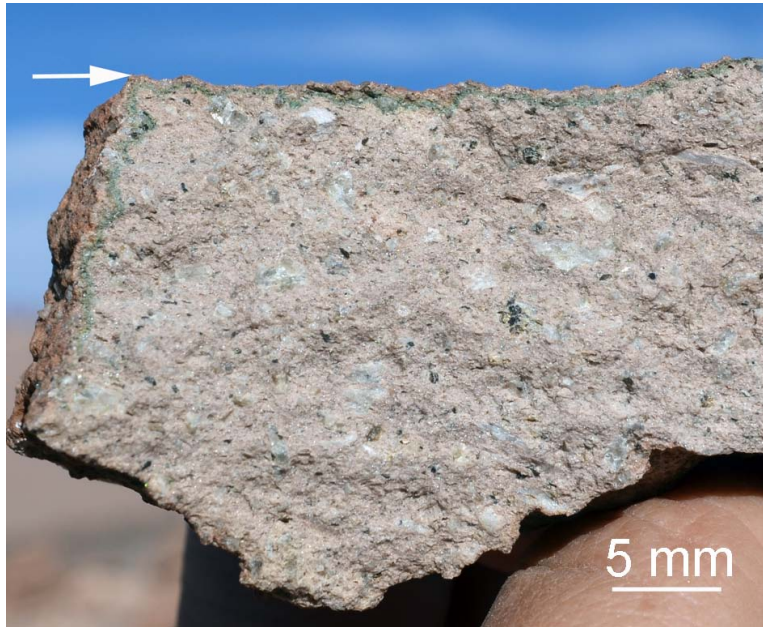
Los desiertos se caracterizan por ser ambientes extremos para la vida y el de Atacama es uno de los más antiguos del planeta. En él se han registrado los récords mundiales de varios factores ambientales: se trata del desierto más seco del mundo, con una lluvia promedio de 3mm/año; en él se alcanzan los máximos valores de radiación solar (sobre todo ultravioleta) que llegan a ser hasta 4 veces superiores a los que podríamos encontrar en España en verano; además, las fluctuaciones diarias de temperatura pueden llegar hasta los 60°C de diferencia entre el día y la noche y se ha llegado a detectar una temperatura en superficie de suelo de 84°C en algunos de sus enclaves.

Todas estas condiciones lo convierten en un ambiente poliextremo, que hace que, en muchos estudios, se utilice como análogo de Marte. Cuando comenzó a estudiarse desde una perspectiva biológica se llegó a considerar que era 'el límite para el desarrollo de vida', pero ¿para todos? ¡No! *Una comunidad de irreductibles microorganismos resiste todavía y siempre a las condiciones poliextremas.* Y es que existen comunidades de microorganismos que se alojan

Ilustración representativa de cómo se organizan los microorganismos endolíticos. La imagen es un diagrama de los posibles microhábitats endolíticos: criptoendolítico (poros bajo la superficie de la roca), casmoendolítico (grietas y fisuras de la roca) e hipoendolítico (microcriptas en el interior de la roca en la zona inferior casi en contacto con el suelo)./

Atómico García





Ignimbrita (roca volcánica) recién fracturada con microorganismos criptoendolíticos (banda verde) ubicados bajo la superficie de la roca (flecha) / Jacek Wierzchos

en el interior de las rocas que se han convertido en la esperanza para que la vida se mantenga en estos ambientes pese los cada vez más rápidos procesos de desertificación causados por el cambio climático: los microorganismos endolíticos.

La vida endolítica debe su nombre al lugar en el que se desarrolla: el interior de las rocas. Se da en aquellos ambientes donde las condiciones ambientales son extremas, ya que confiere un espacio físico estable a lo largo del tiempo para

que las comunidades de microorganismos puedan establecerse y desarrollarse. Por un lado, el hábitat en el interior de las rocas protege a estos microorganismos frente a las condiciones atmosféricas adversas como vientos, la deshidratación y la elevada radiación solar, actuando como barrera y evitando así la exposición directa de estas comunidades a las condiciones extremas. Por otro lado, promueve la acumulación de agua, tan imprescindible para los procesos biológicos, reteniéndola en su estructura o

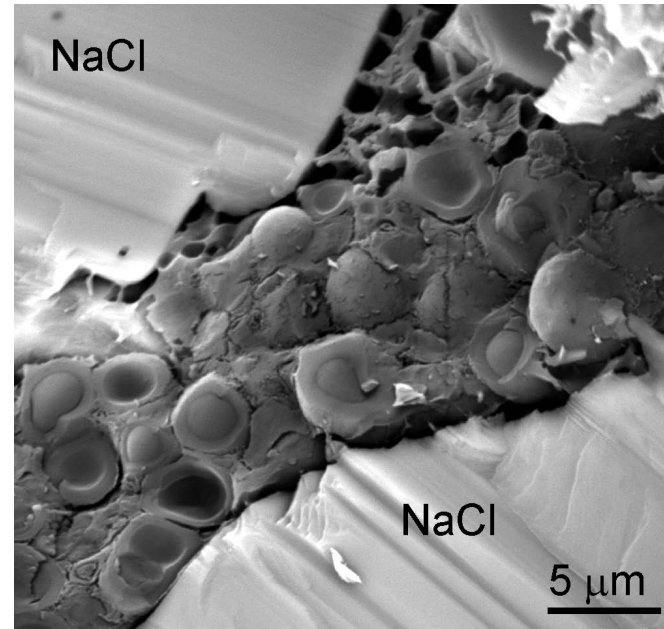
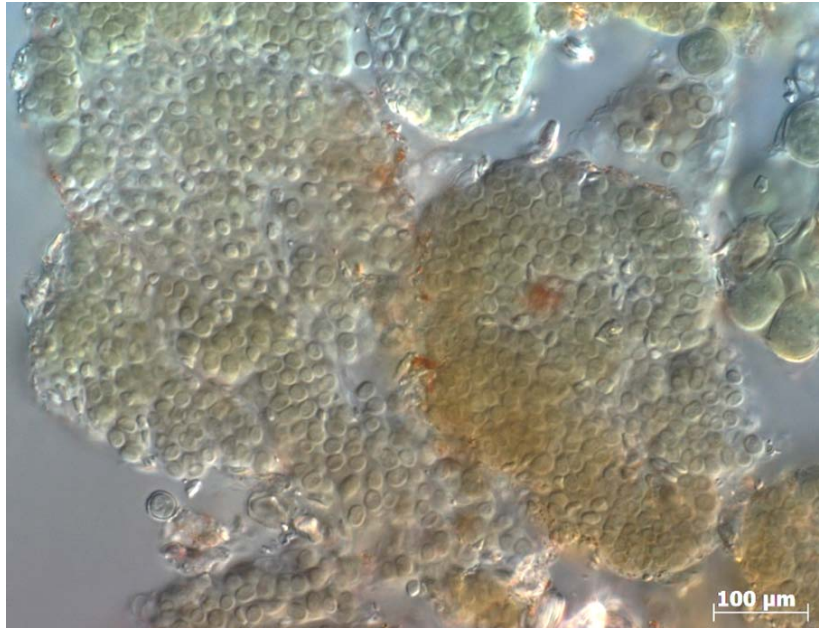
*“Cada sustrato rocoso de Atacama tiene una micromorfología y mineralogía específicas que determinan los microorganismos que los colonizan y la estructura y biodiversidad de las comunidades”*

condensándola gracias a las propiedades específicas del sustrato rocoso.

Para entender cómo estas comunidades pueden desarrollarse en tales condiciones es importante hacer referencia a la naturaleza extremófila o extremotolerante de los microorganismos que las componen, esto es, el requerimiento o tolerancia a las condiciones extremas, respectivamente, por parte de los organismos para crecer y reproducirse. Estas comunidades microbianas endolíticas tienen como base de sustentación microorganismos que realizan la fotosíntesis de manera oxigénica fijando el carbono y poniéndolo a disposición del resto de microorganismos integrantes de la comunidad. Pero ¿cómo identificar dónde están estas comunidades? La actividad fotosintética por parte de estos microorganismos implica la presencia de clorofila, un pigmento verde esencial para el proceso, de manera que las comunidades se presentan como una banda de color verde alojada a pocos milímetros bajo la superficie de la roca.

En el desierto de Atacama se han descrito múltiples sustratos rocosos colonizados por estas comunidades: calcitas, yesos, ignimbritas (rocas volcánicas) y halitas (rocas compuestas casi en su totalidad por sal) entre otros. Si bien es cierto que todos ellos comparten determinadas características que permiten la colonización, como la porosidad que permite el paso de agua y el intercambio gaseoso, o la transmisión de luz para que se pueda realizar la fotosíntesis;





Izquierda) Imagen al microscopio óptico de un raspado de la comunidad microbiana endolítica procedente de yesos con pigmentación para protegerse frente a la radiación UV (coloración naranja y marrón). / M.C. Casero

Derecha) Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido a baja temperatura (Cryo-SEM) de una comunidad microbiana criptoendolítica procedente de halita. Los agregados de cianobacterias rellenan los espacios entre cristales de sal (NaCl) / C. Ascaso y J. Wierchos



cada uno de ellos tiene una micromorfología y mineralogía específicas que determinan la forma en que son colonizados por los microorganismos y por lo tanto, la estructura y biodiversidad de las comunidades que habitan en ellos.

Debido a estas diferencias estructurales, se han definido en función de su localización en el sustrato tres tipos de microhábitats endolíticos: criptoendolítico, ubicado a pocos milímetros bajo la superficie de la roca y compuesto por poros conectados directa o indirectamente con la superficie; casmoendolítico, formado por las fisuras o fracturas del sustrato que conectan con la superficie; y por último hipoendolítico, compuesto por microcriptas que se alojan en la

zona inferior de la roca pero manteniéndose en el interior de la misma, sin entrar en contacto con el suelo sobre el que se apoya el sustrato.

A pesar de las ventajas que ofrece alojarse en estos microhábitats, resulta casi inevitable preguntarse con qué herramientas cuentan estas comunidades para mantenerse a lo largo del tiempo con una limitación tan crítica como es la carencia de agua. En este desierto encontramos sustratos colonizados en áreas con regímenes de precipitación muy distintos: áreas con lluvias irrisorias pero que se dan con cierta temporalidad (3 mm, 2 o 3 días al año) como es el Valle de la Luna en el que se pueden encontrar calcitas colonizadas por comunidades endolíticas, y

áreas en las que se da un único evento de lluvia torrencial en un largo periodo de tiempo (11 mm en un día cada 3 años), como es el salar de Yungay, el lugar más seco de todo el desierto de Atacama, donde aun así se encuentran comunidades endolíticas en halitas.

Gracias a los estudios realizados, sabemos que lo que permite la viabilidad de las comunidades microbianas no es tanto la cantidad de agua como la frecuencia con la que está disponible. De esta manera, la fuente de agua en los lugares del desierto con precipitación no muy abundante pero frecuente sería la lluvia. Pero, ¿qué ocurre en enclaves donde las precipitaciones están ausentes durante años? Pues bien, aquí



*“Estos microorganismos demuestran que ante las más duras condiciones ambientales la vida subsiste y dar lugar a comunidades completas y activas con estrategias eficaces”*

entra en juego la presencia de agua en distintas formas. Si bien es cierto que la lluvia aporta más cantidad, debido a su temporalidad y a las elevadas temperaturas, resulta improbable que los microorganismos que viven en estos lugares la utilicen como única fuente de agua. Se ha observado que en estas zonas se dan distintos procesos de retención de agua en la roca en función de sus características. Debido a las propiedades térmicas del sustrato, el vapor de agua del aire se condensa en forma de rocío en la superficie al alcanzarse temperaturas bajas. Además, en el caso concreto de las halitas (rocas de sal) se da un proceso denominado delicuescencia, donde al alcanzarse una humedad relativa superior a 50-55% los cristales de sal experimentan una transición a estado líquido generándose agua saturada de sal, salmuera. De esta manera, las comunidades microbianas endolíticas de estos lugares podrían disfrutar de un aporte casi diario de agua gracias a la formación de rocío y/o salmuera dependiendo del sustrato en el que se encuentren.

Independientemente de la fuente de agua, las comunidades microbianas de ambientes áridos cuentan con una estrategia infalible para la retención de este agua durante el mayor tiempo posible mediante una matriz de sustancias poliméricas extracelulares, comúnmente conocidas como EPS (del inglés extracellular polymeric substances). Los microorganismos se encuentran embebidos en esta matriz mucosa que tiene la capacidad de retener agua, protegiendo de la desecación y facilitando la interacción entre los distintos integrantes de la comunidad.

Pero la ausencia de agua no es el único factor que resulta limitante para el desarrollo de estas comunidades y es que, como se ha mencionado previamente, la extremada radiación ultravioleta (UV) supone un hándicap de peso para la vida ya que puede provocar la muerte de los microorganismos. Esto sucede ya que la larga exposición a este tipo de luz de baja longitud de onda daña su ADN de manera irreparable incluso contando con los mecanismos celulares más eficientes. Al tratarse de organismos adaptados, extremófilos y extremotolerantes, disponen de estrategias para combatir esta radiación UV. En el caso específico de estas comunidades endolíticas, son los organismos fotosintéticos (bien microalgas o cianobacterias) los que tienen la función de proteger a la comunidad completa gracias a su capacidad de producir pigmentos que absorban este exceso de radiación UV y así evitar el potencial daño celular. Los pigmentos más comunes son

*“Hay tres tipos de microhábitats endolíticos en función de su estructura y ubicación en el sustrato: criptoendolítico, casmoendolítico e hipoendolítico”*

los carotenoides, que absorben a longitudes de onda medias, aunque la principal pantalla solar en estas comunidades es la escitonemina, un pigmento producido por algunas cianobacterias como consecuencia de su exposición a la radiación UV capaz de absorber a menor longitud de onda, la del UV-A (320-400nm). De hecho, se ha podido observar in situ cómo la presencia de este pigmento en la población de cianobacterias aumenta a medida que se encuentran más cerca de la superficie, actuando como barrera protectora para toda la comunidad microbiana alojada bajo ella.

No son pocas las dificultades a las que se enfrentan estas comunidades microbianas en uno de los lugares más extremos del planeta, el Desierto de Atacama. Dándonos una lección de humildad, estos microorganismos demuestran que ante las más duras condiciones ambientales la vida no es solo capaz de subsistir, sino de dar lugar a comunidades completas y activas con estrategias eficaces. Una vez más la vida se abre camino ■

